

## 学位論文審査の結果の要旨

氏 名	<b>Ahmed Mohamed Anwar Mahmoud</b> (アーメド・モハメド・アンワール・マーモウド)
審 査 委 員	<div>主 査 服部九二雄 (印)</div> <div>副 査 緒方 英彦 (印)</div> <div>副 査 石井 将幸 (印)</div> <div>副 査 野中 資博 (印)</div> <div>副 査 長束 勇 (印)</div>
題 目	<b>Evaluation of Using ECC and CFRP for Strengthening of Concrete Structures</b> (コンクリート構造物補強に ECC と CFRP を適用した場合の評価)
審査結果の要旨 (2,000字以内)	
<p>コンクリートは世界で最も幅広く使われている建設材料で、エジプトでもコンクリートは各種構造物に大規模に使われている。エジプトにおける多くのコンクリート構造物は既に設計寿命を越えており、あるコンクリート水利構造物の年数は百年を越えて現在までなお供用されている。今日、エジプトでは劣化した水利施設の補強と補修に必要な調査が計画・実施されているが、ベース材料にマッチングし、適用しやすく、廉価である新しい技法を採用すべきである。</p> <p>本研究は、エジプトでの状況を踏まえ、エジプトに多数あるコンクリート製水利構造物の補修・補強方法を新しい材料で開発しようとするものである。コンクリート構造物のひび割れ発生は避けられないので、このひび割れが水利構造物のどのような場所に発生し易いか過去の事例より示し、その位置測定に超音波法を適用して推定式を楕円方程式で示している。この理論的展開を論文にまとめシンガポールでの学会で発表し、優秀論文賞を得ている。</p> <p>論文の主目的は、コンクリートの劣化状態を評価する新しい方法と、コンクリート構造物を補強・補修する新しい考え方を示すことである。研究は次の2点に重点をおいている；</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) コンクリート中のクラック位置を調べる UPV 試験</li><li>2) ECC と CFRP シートを組み合わせたコンクリート部材の補強・補修</li></ol> <p>なお、補強・補修材料として ECC と CFRP を選んでいる理由は以下のようにまとめられる；</p> <ol style="list-style-type: none"><li>① ECC は高い延性と共に高引張強度を有する。</li><li>② ECC はひび割れ分散性により鉄筋の腐食を抑制する。</li><li>③ コンクリート構造物の耐久性を高める。</li><li>④ ひび割れが発生しても透水性が抑制される。</li><li>⑤ CFRP は非常に高い強度重量比を有する。</li><li>⑥ CFRP は耐食性及び耐化学抵抗性が高い。</li><li>⑦ CFRP は適用が容易である。</li><li>⑧ ECC 及び CFRP とも構造物の形状への影響が少ない。</li></ol> <p>研究ではコンクリート構造物中のクラックの大きさと位置を定める新しい方法を示した。これは UPV 読取値を1つの楕円方程式で表すもので、得られた楕円方程式はクラックの一端を表す点を通る。これら複数の楕円方程式を解けば、クラックの両端を決めることができる。この方法はクラックの位置を決める従来の方法よりも以下の点で数段優れている；</p>	

- ① クラックに平行な面に発信・受信子を置かなくても適用できる。
- ② 曲面に沿っても適用できる。
- ③ コンクリート中の傾いた内部のクラックも同定できる。

コンクリート梁の補強には ECC と、ECC 及び CFRP を併用した場合の比較も行い、これらの結果より、ECC 補強梁は、純曲げ破壊でかなり延性を示すこと、ECC の厚さに比例して梁の強度が増大すること、CFRP で直接補強された梁は接着面剥離破壊にかなり高い強度を示すことが示されている。

ECC と CFRP を併用した実験を、サイズの小さい角柱供試体とサイズの大きい鉄筋補強コンクリート梁について行い、梁の延性および強度ともかなり増大することが示されている。さらに鉄筋補強コンクリート梁の場合、かぶりのほぼ 2 倍の比較的薄い ECC 層に CFRP を貼り付けると接着面剥離破壊をかなり抑制することが分かった。また CFRP で補強されたコンクリートと ECC との間の違いも示された。多数で微細なクラックに沿った ECC の繋ぎ機能でクラック近傍の応力集中が抑制される結果、剥離破壊が極めて小さくなった。通常の脆性材料であるコンクリートの場合、1 つのクラック周辺の応力集中は、クラック近傍から始まり限界点まで直接続く破断現象となってしまう。

初期段階からクラックに入った梁の補修材として ECC と CFRP を用いたケースも実験を行っている。梁の中央に梁高さの半分までクラックを入れた無筋コンクリート梁を作製し、クラック全体を ECC で覆う形で補修した。ECC はクラック端間の内部力を連結させ、梁を元の状態よりも強い状態に回復させることが分かった。さらに ECC と CFRP の貼付時期の違いは補修に影響せず、ECC とコンクリートは十分に結合することが分かった。CFRP を適用する前に ECC の比較的小さな層を適用したほうがよいことも分かった。このことは劣化した構造物の修復及び改修の点でかなり効果的であろう。

CFRP を溝付き矩形柱の補強にも適用している。この種の構造物は水に浸かる橋脚や水利構造物によく見かける。柱の幾何形状から連続した繊維シートの貼り付けは難しい。

CFRP を巻き付けた円柱の挙動研究は多くの研究者が行っており、また矩形断面の研究は若干見られるが、溝付き矩形柱の補強問題はほとんど研究されてきていない。本研究では、いろいろな場所にいろいろなサイズの溝を持つ角柱を作成し、いろいろな組み合わせ補強を考え、破壊試験を行っている。そして溝付き角柱の限界荷重を予測する新しい推定式を提案した。

最後に、CFRP シートをアーチ形の橋の補強に適用している。エジプトでよく見られるアーチ形状を持った水利構造物をモデル化した。補強条件は、下端（シバ），両側，そして両側と下端の補強を組み合わせたモデルが実験に供された。全下端長さの 1/3 を補強したアーチ形橋は高い断面耐力と部材の延性を得るのに最適であった。両側の補強によって、載荷力はさほど大きくは成らなかったが構造的な延性が向上した。CFRP 貼付最適位置の決定と各補強組み合わせに応じた破壊モードの推定にストラット・タイモデルも実験してみた。

本論文では実用化できる多数の有益な結論を提示することができた。

- (1) コンクリートのクラック位置を UPV 読取值から楕円方程式で表すことができる。従来の方法より容易にクラック位置を表示できることを示すことができた。
- (2) ECC と CFRP の組み合わせ利用は、いろいろなコンクリート部材（柱、梁など）の構造的な耐久性を高めるのに効果的である。

今後の展開としては、本研究で得られた静的な実験結果を一層強固なものにするには、コンクリート部材の動的挙動の研究が必要である。また、この工法を実構造物に適用するには、コスト面での検討を重ねる必要がある。

以上の研究内容は、多くの国々にある多数の劣化した水利施設の補修・補強方法の決定などに大いに寄与するものと期待される。したがって、本論文が学位論文として十分な価値を有するものと判定できる。